

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL
ENGINEERING

ZKUŠEBNÍ ZAŘÍZENÍ PRO ZKOUŠKY HOŘÁKŮ

TESTING FACILITIES FOR BURNER TESTING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ROBERT SOBOČÍK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR BĚLOHRADSKÝ, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Robert Sobočík

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Zkušební zařízení pro zkoušky hořáků

v anglickém jazyce:

Testing Facilities For Burner Testing

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vlastní vývoj hořáků úzce souvisí s jejich zkouškami. Zkoušky hořáků poskytují možnost získat cenné informace týkající se provozních parametrů, emisí, tvaru a délky plamene, přenosu tepla ze spalin do stěn spalovací komory, a v neposlední řadě i bezpečnostních limitů a hluku. Základním předpokladem k provedení těchto zkoušek hořáků je dostupnost vhodného zkušebního zařízení. Úkolem studenta je provést analýzu zkušebních zařízení určených pro zkoušky hořáků.

Cíle bakalářské práce:

1. Rešerše základních typů hořáků.
2. Rešerše výrobců hořáků.
3. Rešerše zkušebních zařízení pro zkoušky hořáků v ČR a zahraničí.
4. Hlavní technické parametry zkušebních zařízení.

Seznam odborné literatury:

1. Baukal C.E., *Industrial Combustion, Pollution and Control*, USA, Marcel Dekker, 2004, ISBN 0-8247-4694-5.
2. Baukal C.E., *Industrial Burners Handbook*, USA, CRC PRESS, 2004, ISBN 0-8493-1386-4.
3. Baukal C.E., *Industrial Combustion Testing*, USA, CRC PRESS, 2011, ISBN 978-1-4200-8528-0.
4. Kermes V., Skryja P., Stehlík P., *Up to date experimental facility for testing low-NO_x burners, 10th Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction PRES 2007, Ischia Porto, Itálie, 2007, Proceeding on CD-ROM.*
5. Rafidi N., Blasiak W., *Heat transfer characteristics of HiTAC heating furnace using regenerative burners*, Applied Thermal Engineering 2006; 26:2027-2034.
6. Tsuji H., Gupta A.K., Hasewaga T., Katsuki M., Kishimoto K., Morita M., *High Temperature Air Combustion: From Energy Conservation to Pollution Reduction*, USA, CRC Press, 2003, ISBN 0-8493-1036-9.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Bělohradský, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 16.11.2011

L.S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zaměřuje na zkušební zařízení pro zkoušky hořáků. Jedná se o podrobnou rešerši dostupných materiálů včetně odborné literatury a internetových stránek s cílem shromáždit veškeré dostupné informace o aktuálních hořácích a zmapovat současnou situaci na trhu. Tato práce poskytuje nové informace o zařízeních na testování hořáků a o shromažďování, zpracovávání a vyhodnocování údajů získaných v procesu testování v českých i zahraničních firmách.

Klíčová slova

Hořák, spalování, zkušební zařízení, zkouška hořáků.

Abstract

This Bachelor's thesis is focused on testing facilities intended for burner testing. It deals with a thorough research of accessible material including specialist technical literature and relevant websites in order to gather any available information on current burners and monitor present situation in the market, as well as to provide new information on burner testing facilities and collecting, processing and evaluating the data gained in testing process in Czech and foreign companies.

Key words

Burner, combustion, testing facility, burner testing.

Bibliografická citace

SOBOČÍK, R., *Zkušební zařízení pro zkoušky hořáků*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 38 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Bělohradský, Ph.D..

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto závěrečnou bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem použil pouze těch zdrojů, které uvádím v bibliografii. U převzatých myšlenek uvádím jejich zdroj, i když se jedná o mé vlastní formulace. V případě kladného výsledku obhajoby mé práce souhlasím s tím, aby tato práce byla uložena v knihovně a sloužila v souladu s mými autorskými právy případným zájemcům. Jsem si vědom, že tato práce byla vypracována jako součást mých povinností v rámci studijního programu, jehož dílčí výsledky jsou zároveň plněním badatelských cílů ústavu, fakulty a univerzity.

V Brně dne 25. 5. 2012

Robert Sobočík

Poděkování

Rád bych poděkoval zejména vedoucímu své závěrečné bakalářské práce panu Ing. Petru Bělohradskému, Ph.D. za odborné vedení, konzultace a věcné rady, které mi poskytoval a kterých jsem využil pro napsání této bakalářské práce.

V Brně dne 25. 5. 2012

Robert Sobočík

Obsah

1	Úvod	13
1.1	Cíle práce.....	13
2	Spalování	14
2.1	Spalovací systém	14
2.2	Problémy při spalování.....	15
3	Hořáky	16
3.1	Hlavní části hořáku.....	16
3.2	Základní typy hořáků	16
3.2.1	Vysokorychlostní hořáky	17
3.2.2	Regenerační hořáky	17
3.2.3	Sálavé hořáky	18
3.2.4	Sálavé trubky.....	19
3.2.5	Sálavé stěnové hořáky	20
3.2.6	Hořáky pro průmyslové kotle.....	20
3.2.6.1	Konvenční hořáky	20
3.2.6.2	Nízkoemisní hořáky	21
3.2.6.3	Ultra low NO _x hořáky	21
3.2.7	Hořáky spalující směs vzduchu a kyslíku	22
3.2.8	Kyslíkové hořáky	22
3.3	Výrobci hořáků.....	23
3.3.1	Výrobci v České republice	23
3.3.1.1	VUCHZ, a. s.....	23
3.3.1.2	Ústav využití plynu Brno, s.r.o.	23
3.3.1.3	PBS POWER EQUIPMENT, s.r.o.....	24
3.3.1.4	Hořáky Třebíč, s.r.o.....	24
3.3.2	Výrobci v zahraničí	24
3.3.2.1	Saacke GmbH	24
3.3.2.2	Eclipse, Inc.	24
3.3.2.3	Bentone® Enertech Group	25
3.3.2.4	Maxon A Honeywell Company.....	25
3.3.2.5	Weishaupt GmbH	25
3.3.2.6	RIELLO S.p.A.....	26
4	Zkušební zařízení.....	27
4.1	Parametry zkušebny	27

4.1.1	Spalovací komora	27
4.1.2	Palivo.....	28
4.2	Měřené veličiny	28
4.2.1	Vstupní parametry	28
4.2.1.1	Průtok paliva	28
4.2.1.2	Průtok spalovacího vzduchu.....	29
4.2.2	Podmínky ve spalovací komoře	29
4.2.2.1	Teplota ve spalovací komoře.....	29
4.2.2.2	Stav hořáku.....	29
4.2.2.3	Tah.....	29
4.2.2.4	Charakteristiky plamene.....	29
4.2.2.5	Tepelný tok.....	30
4.2.3	Měření výstupních emisí	30
4.2.3.1	Hluk	30
4.3	Zkušební hořáků	30
4.3.1	Zkušební v ČR.....	31
4.3.1.1	Zkušebna Strojírenského zkušebního ústavu, s. p.....	31
4.3.1.2	Zkušebna UPEI Brno	31
4.3.1.3	Zkušebna hořáků VUCHZ, a. s.	32
4.3.1.4	Zkušebna UVP Brno	33
4.3.1.5	Zkušebna PBS POWER EQUIPMENT, s.r.o.	33
4.3.2	Zkušební v zahraničí	33
5	Závěr	34
	Zdroje	35
	Seznam obrázků	37
	Seznam zkratk	38

1 Úvod

Spalování ovlivňuje každodenní život člověka víc, než si uvědomuje. Například elektrická energie, kterou potřebujeme pro svůj každodenní život, je z velké části vyráběna v tepelných elektrárnách spalováním uhlí. V autech nebo autobusech, kterými se denně dopravujeme do školy nebo do zaměstnání, pracují spalovací motory. Letadla využívají k pohonu turbomotory, ve kterých dochází také ke spalování. Většina materiálů každodenního použití je vyrobena díky nějakému tepelnému procesu.

Stěžejním prvkem celého spalovacího systému je hořák. Konstrukce hořáku má vliv na promíchávání paliva oksylichovadlem, kterým je ve většině aplikací atmosférický vzduch, na efektivitu spalování a také na množství škodlivin, které jsou vypouštěny do ovzduší. Tato skutečnost vede k tomu, že při vývoji nebo rekonstrukci stávající geometrie hořáku je nutné hořák před uvedením do provozu řádně otestovat. Zkoušení hořáků se provádí ve zkušebnách hořáků.

1.1 Cíle práce

Tématem této bakalářské práce je Zkušební zařízení pro zkoušky hořáků a je zaměřena na hořáky využívané v průmyslových technologických zařízeních. Práce je rozdělena do pěti kapitol. Po stručném úvodu v kapitole 1 a úvodu do problematiky spalování v kapitole 2 se tato práce soustředí na dva hlavní cíle.

Prvním cílem je popsat jednotlivé druhy hořáků, se kterými se lze na trhu setkat, a zmapovat současný trh s těmito dostupnými hořáky, čímž se zabývá kapitola 3.

Druhým cílem je provést rešerši problematiky zkušeben hořáků a předložit ucelený přehled zkoušených parametrů, které jsou ve zkušebnách při testování hořáků sledovány, zaznamenávány, zpracovávány a vyhodnocovány a také seznam míst, kde lze hořáky testovat. Tímto cílem se zabývá kapitola 4.

Metody použité pro napsání bakalářské práce jsou rozsáhlé rešerše dostupných materiálů v odborné literatuře a na internetu, zjišťování dat v tuzemských a zahraničních firmách zabývajících se touto problematikou.

2 Spalování

Spalování je definováno jako rychlá oxidace paliva na bázi uhlíku, při které dochází k přeměně chemické energie na energii tepelnou, která je dále použita v průmyslu například k ohřevu procesní látky nebo tavení materiálu.

Hlavní oblasti průmyslu, ve kterých se spalování využívá k výrobě tepla, jsou [1]:

- výroba kovů z rud a jejich následné tepelné zpracování,
- výroba skla,
- zpracování ropy a výroba nafty a benzínu,
- sušení dřeva,
- výroba a zpracování gumy a plastů,
- výroba elektrické energie v tepelných elektrárnách,
- spalování odpadů,
- výroba cementu a cihel ve stavebnictví,
- a další.

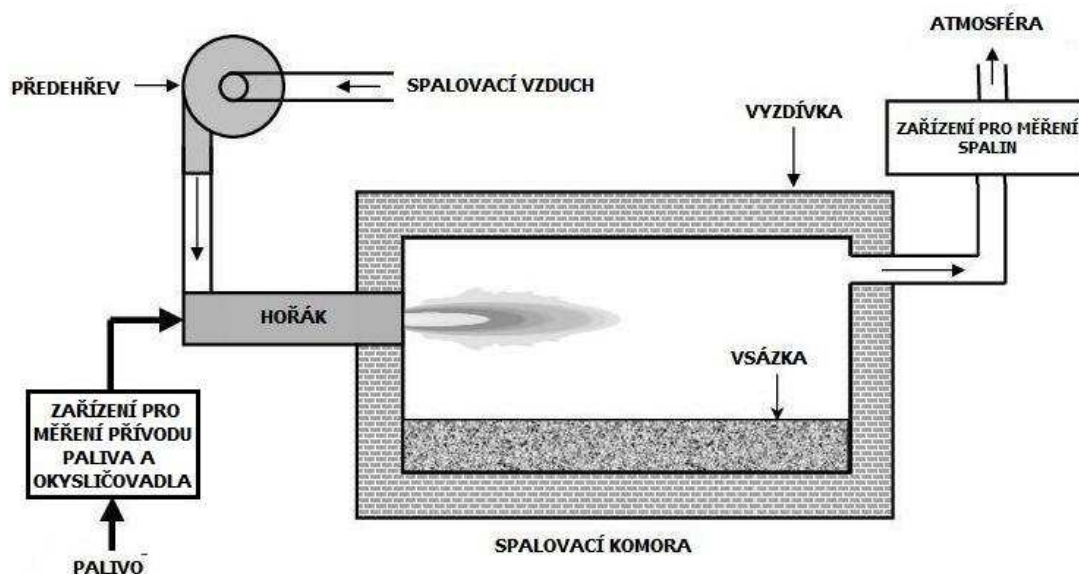
Každoročně narůstá spotřeba energie, která je z 88% vyráběna spalováním uhlí a fosilních paliv (nafty nebo benzínu).

K iniciaci spalovacímu procesu jsou potřebné tři složky: *palivo*, *okysličovadlo* a *zapalovací zdroj*. Palivo je *pevné* (obvykle uhlí), *kapalné* (produkty z ropy – petrolej, nafta nebo mazut) a *plynné* (obvykle zemní plyn). Jako okysličovadlo se ve většině aplikací používá atmosférický vzduch, který obsahuje 21% kyslíku, ale jsou i spalovací procesy, ve kterých se využívá okysličovadlo s nižším nebo vyšším obsahem kyslíku než 21%.

2.1 Spalovací systém

Spalovací systém je komplexní zařízení, které má šest základních komponentů [1]:

- 1) hořák** – místo, kde se směšuje palivo s okysličovadlem.
- 2) vyzdívka pece** – jako izolant spalovací komory má hlavní vliv na přenos tepla z horkých spalin na vsázku.
- 3) spalovací komora** – místo, kde je umístěn hořák a vyzdívka. Může jí být vysoká pec, topné těleso nebo zařízení na sušení.
- 4) zařízení ke zvýšení efektivity spalování** – zařízení na předehřev okysličovadla (u hořáků s předmísením).
- 5) zařízení pro měření přívodu paliva a okysličovadla do hořáku** – vstupní prvek celé soustavy.
- 6) zařízení pro kontrolu složení spalin** – výstupní prvek systému kontrolující množství nečistot vypouštěných do ovzduší.



Obr. 1 Schéma spalovacího systému [1].

2.2 Problémy při spalování

Hlavním problémem průmyslového spalování je vznik látek, jako jsou oxid uhelnatý a oxidy dusíku, znečišťujících životní prostředí. Výrobci hořáků se snaží tyto produkty vzniklé spalováním co nejvíce zredukovat vhodným navržením hořáku. Jejich minimalizace je však poměrně složitá.

V minulosti bylo hlavním posláním inženýrů navrhnout hořák, který ideálně smíchá největší množství paliva a okysličovadla tak, aby docházelo k dokonalému spalování a tím se minimalizovala tvorba jedovatého oxidu uhelnatého a maximalizovala se efektivita spalovacího procesu. Díky zdokonalení měřicích přístrojů se zjistilo, že při spalování nevznikají pouze oxidy uhlíku, ale i další znečišťující látky, především oxidy dusíku. Na rozdíl od CO, který se tvoří při nízkých teplotách spalování a nedostatku kyslíku, NO_x vznikají při vysokých teplotách v plameni. Tyto NO_x jsou zejména termické.

V současné době je cílem konstruktérů hořáků navrhnout takovou konstrukci hořáků, která by minimalizovala celkové množství znečišťujících látek s optimálním poměrem CO a NO_x ve spalínách a maximální efektivitou spalování.

3 Hořáky

V průmyslovém spalování je hořák klíčovým komponentem spalovacího systému. Jeho konstrukce má zásadní vliv na množství tepelné energie, která se přemění z chemické energie vázané v palivu a okysličovadle. Tepelná energie se uvolňuje díky reakci uhlíku s kyslíkem:



3.1 Hlavní části hořáku

Každý hořák má několik základních částí ovlivňujících jeho efektivitu spalování a tvorbu znečišťujících látek. Tyto části jsou následující [1]:

- 1) systém zapalování** - zajišťuje bezpečnou a spolehlivou funkci hořáku. Většinou je zabudován uvnitř hořáku, ale může být umístěn i vně. Existují různé druhy zapalovacích systémů, které jsou buď plně automatické, nebo mohou být obsluhovány ručně. Po zapálení tohoto systému dochází k zapálení hlavního plamene. Zapalovací systém má vlastní přívod paliva, které bývá těkavější než palivo používané pro provoz hořáku.
- 2) směšovací komora** - zde se mísí plyn s okysličovadlem. Tato směs je dále rovnoměrně rozvedena do prostoru kolem hořáku. Směs může být složena z přivedeného paliva a vzduchu. Do této směsi je možné ještě přimíchat již spalovanou směs, která nebyla dokonale spálena. Směšovací komora slouží též k ovládání hořáku po celou dobu jeho provozu. Použitý způsob míšení má výrazný vliv na množství škodlivin ve spalínách. Směšovací komora je součástí hořáků s předmísením.
- 3) tvarovka** - součást hořáku, která ovlivňuje tvar plamene a chrání vnitřní části před přehřátím. Většinou je vyrobena z keramického materiálu s příměsí hliníku a křemíku v závislosti na provozní teplotě. Tvarovka má vliv také na zapálení hlavního plamene, cirkulaci plynů během spalování a podporuje stabilitu plamene.
- 4) regulační systém** - slouží k regulaci průtoku spalovacího vzduchu a paliva, které jsou přiváděny do hořáku. Pokud je hořák vybaven vstřikovací jednotkou, regulační systém řídí množství paliva jdoucího do jednotlivých trysek a může mít vliv i na přívodní a výstupní tah spalovací komory (pece).
- 5) bezpečnostní systém** - slouží k monitorování hlavního a zapalovacího plamene. Tento systém je napojen na přívod paliva a v případě překročení některého z nastavených parametrů měřených na vstupu nebo na výstupu může zastavit přítok paliva do spalovací komory.

3.2 Základní typy hořáků

Podle způsobu použití je možné hořáky rozdělit do několika skupin. Základní kritérium posuzování je typ ohřevu:

- *přímý* – plamen hořáku může být v kontaktu se vsázkou a spaliny jsou vypouštěny do prostoru spalovací komory.
- *nepřímý* – spaliny ani plamen hořáku se nedostávají do kontaktu se vsázkou, do pece pouze dodávají teplo a plyny vzniklé spalováním jsou odváděny zvláštním kouřovodem.

Další kritérium dělení je dle přívodu spalovacího vzduchu k hořáku:

- *přirozené* – spalovací vzduch k hořáku proudí pouze díky rozdílu atmosférického tlaku a tlaku ve spalovací komoře.
- *nucené* – vzduch je k hořáku dopravován pomocí ventilátoru nebo kompresoru.

Podle míšení paliva a okysličovadla lze hořáky rozdělit na:

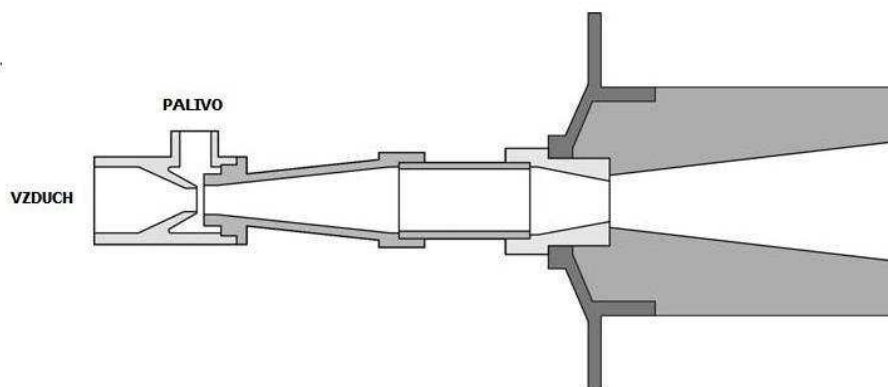
- *difúzní* – palivo a okysličovadlo se mísí přímo v hořáku.
- *s předmísením* – palivo a okysličovadlo je smíšeno ve směšovací komoře.

3.2.1 Vysokorychlostní hořáky

Konstrukce vysokorychlostního hořáku je navržena tak, že výstupní rychlost spalin ze spalovací komory přesahuje 90 m/s. U komerčních hořáků tohoto typu se rychlost spalin pohybuje v průměru mezi 120 m/s a 150 m/s. Konstrukce vysokorychlostních hořáků má za následek recirkulaci spalin ve spalovací komoře. To vede ke zvýšení rovnoměrného rozložení teploty ve spalovací komoře a ke zlepšení přenosu tepla.

Vysokorychlostní hořáky jsou používány jak pro nízkoteplotní aplikace (sušení, ohřev), ve kterých probíhá přestup tepla konvekcí (prouděním), tak ve vysokoteplotních aplikacích, kde přestup tepla probíhá radiací. V současnosti jsou využívány k tepelnému zpracování různých druhů ocelí na výrobu vysokotlakých zásobníků na zemní plyn.

V praxi je možné se setkat jak s hořáky směřující palivo a okysličovadlo před vstupem do spalovací komory, tak s hořáky, ve kterých tato směs vzniká až za tryskou ve spalovací komoře. Palivem je nejčastěji plyn. Kromě plynu můžeme v tomto vysokorychlostním hořáku spalovat i kapalná paliva, například naftu.

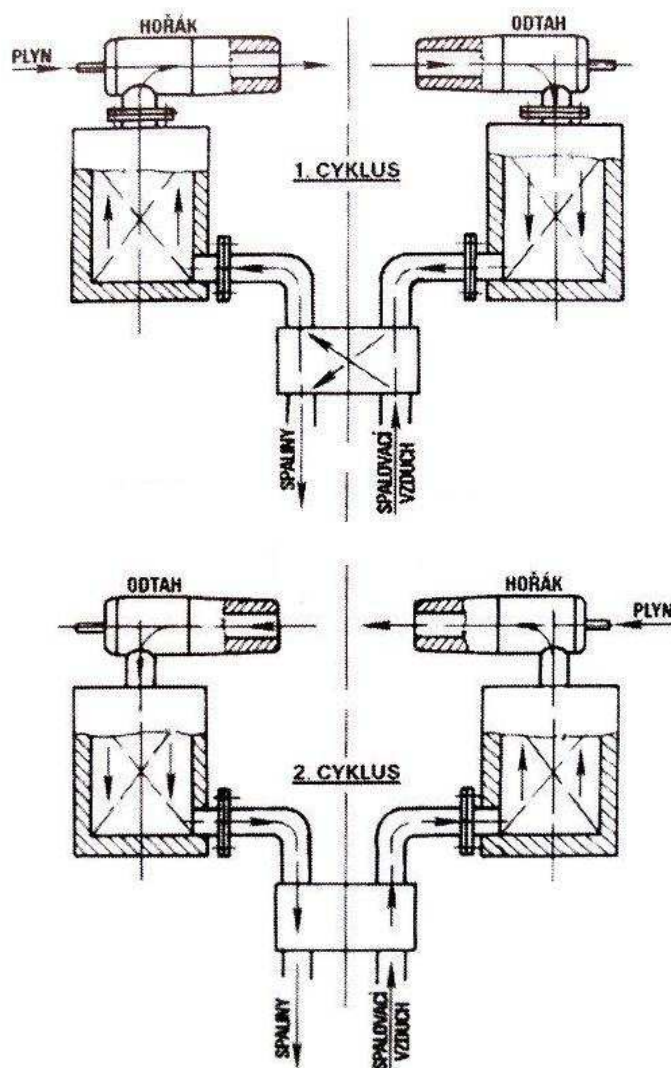


Obr. 2 Schéma vysokorychlostního hořáku [1].

3.2.2 Regenerační hořáky

Princip regeneračních hořáků spočívá ve střídavém ohřevu spalovacího vzduchu v regenerátorech vyhřívaných spalinami. Regenerační hořáky jsou v peci umístěny naproti sobě. Práce hořáků probíhá ve dvou cyklech. Jeden hořák vždy slouží jako topný a druhý jako odtahový. V časově regulovaných intervalech proběhne tzv. reverzace, při níž se změní proudění spalin v systému.

V současnosti jsou regenerační hořáky hlavní technologií pro vysokoteplotní vypalovací pece na keramiku a žíhací pece na ocel s vysokou efektivitou a nízkým emisním zatížením.

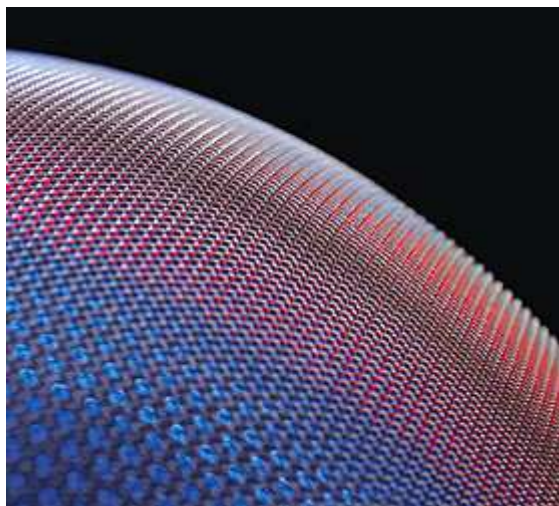


Obr. 3 Schéma regeneračního hořáku [24].

3.2.3 Sálavé hořáky

Konstrukce tohoto typu hořáků je navržena tak, že se teplo přenáší na objekty (vsázku) díky tepelnému záření (radiaci) především pomocí infračerveného záření. Je konstruován pro nízkoteplotní využití. Hlavním prvkem tohoto hořáku je směšovací komora. Na zadní straně směšovací komory je vstup pro plynné nebo kapalné palivo. Naproti vstupu pro palivo jsou umístěny pórovité tabule vyrobené z tkaniny ze speciální ušlechtilé oceli odolné proti vysokým teplotám, na kterých probíhá povrchové spalování. Tabule mají funkci infra zářiče.

Sálavé hořáky se používají především k ohřevu, sušení a vytvrzování plastů. Jako příklad využití může být uvedeno ohřívání podlahových krytin, sušení papíru a kartonů v papírnách, sušení dřeva, porcelánu, maleb, nebo se využívají k sušení inkoustu při tisku.



Obr. 4 Pórovité tabule přímého sálavého hořáku [25].

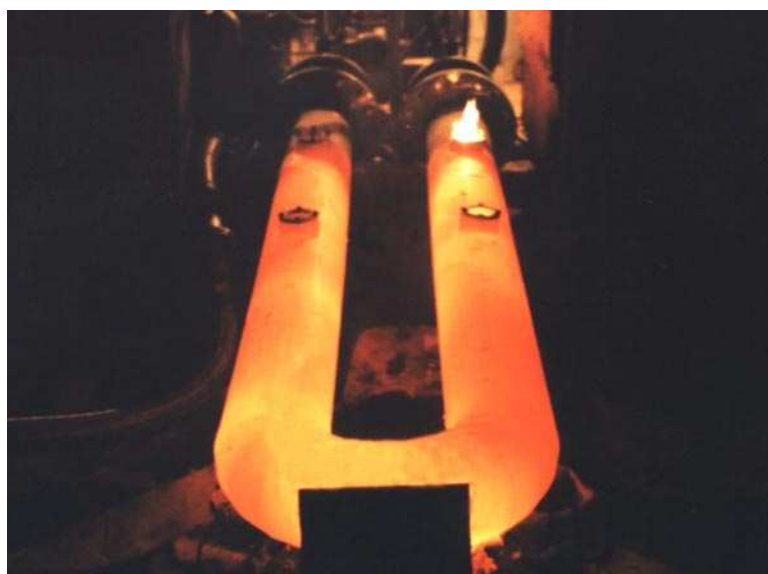
3.2.4 Sálavé trubky

Řadí se do kategorie hořáků s nepřímým ohřevem. Používají se v oblastech průmyslu, kde není žádoucí, aby vsázka v peci byla v kontaktu se spaliny. Využití nacházejí například v metalurgii pro předehřev spalovacího vzduchu, aby se v peci nevyskytovaly zplodiny ze spalování. Palivem sálavých potrubních hořáků je většinou plyn, ale existují i hořáky na kapalná paliva.

Princip ohřevu pomocí sálavých trubek spočívá v přestupu tepla radiací do stěny trubky hořáku, dále kondukcí přes stěnu hořáku a následně opět radiací do prostoru pece. Je možné se setkat se dvěma hlavními typy těchto hořáků [1]:

- *otevřené* – hořák je na jedné straně trubky a spaliny vycházejí její druhou stranou,
- *uzavřené* – hořák a systém odvodu spalin je na stejné straně.

Také je lze rozlišit podle systému cirkulace spalin v trubce na recirkulační a bez recirkulace, přičemž druhý jmenovaný systém je běžnější.



Obr. 5 Sálavý potrubní hořák v praxi [27].

3.2.5 Sálavé stěnové hořáky

Sálavé stěnové hořáky jsou navrženy tak, aby mohly být v peci instalovány do řad. Směr jejich plamene je rovnoběžný se stěnou pece a teplo, které generují, je přenášeno do stěny pece. Ohřívané trubky s procesní kapalinou jsou umístěny v prostoru pece, kde jsou zahřívány radiací ze stěny pece a konvekci horkých spalin z hořáku. Teplota v pecích osazených těmito hořáky se pohybuje mezi 1000°C až 1250°C.

Sálavé stěnové hořáky se používají v petrochemickém průmyslu, hlavně při obohacování vodíku a při krakování etylenu. Teplo z pece, které je přeneseno na trubky, vyvolá v procesní kapalině protékající trubkami vhodnou chemickou reakci, díky níž je možné získat na konci procesu námi požadovaný chemický produkt. Efektivita těchto hořáků, potažmo pecí, závisí hlavně na přenosu tepla. To je předmětem zkoumání a stále se zlepšuje a optimalizuje.

Nejběžnější uskupení stěnových hořáků jsou dvě:

- 1) kombinace se spodními hořáky, které jsou umístěny na dně spalovací komory,
- 2) kompletní osazení stěny pece pouze stěnovými hořáky umístěnými do šestiúhelníku.



Obr. 6 Nahřátá stěna pece se sálavými stěnovými hořáky [28].

3.2.6 Hořáky pro průmyslové kotle

Hořáky navrhované pro průmyslové kotle mají systém recirkulace spalin a jejich výkon se pohybuje od 5,8 MW do 117 MW. Spalují buď kapalná nebo plynná paliva. Podle množství produkovaného NO_x jsou děleny do tří skupin: konvenční, nízkoemisní (low NO_x) a ultra low NO_x .

3.2.6.1 Konvenční hořáky

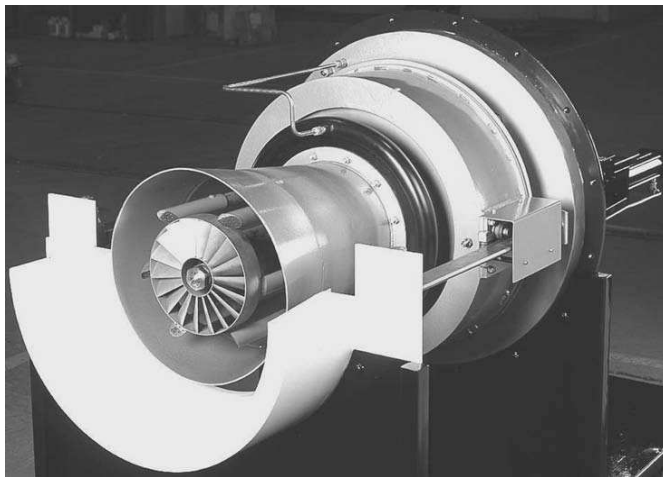
Konvenční hořáky jsou vybaveny vířiči vzduchu, které dodávají spalovacímu vzduchu vířivý pohyb. Palivo je rovnoměrně vstřikováno do víru spalovacího vzduchu u výstupu z hořáku.

Spalovaná směs vstupuje do spalovací komory přes žárupevné hrdlo. Tímto řešením se dosáhlo u těchto hořáků krátkého točivého plamene, kterému nevadí rychlá změna spalovací rychlosti a přimíchání většího množství vzduchu. Na druhou stranu tento hořák produkuje velké množství NO_x .

3.2.6.2 Nízkoemisní hořáky

Úkolem nízkoemisních hořáků (low NO_x) je redukovat množství NO_x vznikajících při spalování. Jedním z řešení potlačení tvorby NO_x je systém recirkulace spalin, kdy část spalin je přiváděna zpět do hořáku a opět smíchána se spalovacím vzduchem. Jiná varianta redukce NO_x podobná systému recirkulace je smíšení spalin s plynným palivem místo spalovacího vzduchu.

Další metodou redukce NO_x ve spalinách je vícestupňové spalování. Tato metoda není navržena na principu recirkulace, ale na principu vstupu paliva nebo spalovacího vzduchu do hořáku ve více bodech. Vstřikování paliva přímo do spalovací komory je další alternativou redukce NO_x u nízkoemisních hořáků.



Obr. 7 Nízkoemisní hořák [1].

3.2.6.3 Ultra low NO_x hořáky

Jedná se o vylepšení nízkoemisních hořáků přímými metodami, a to:

- 1) vyvarováním se oblastem s velkým množstvím paliva,
- 2) snížením teploty plamene.

Snížení množství paliva v určité oblasti lze docílit buď smícháním plynného paliva a spalovacího vzduchu ve směšovací komoře nebo rychlým smícháním paliva a vzduchu až na výstupu hořáku (což je používáno u kombinovaných hořáků na kapalná a plynná paliva).



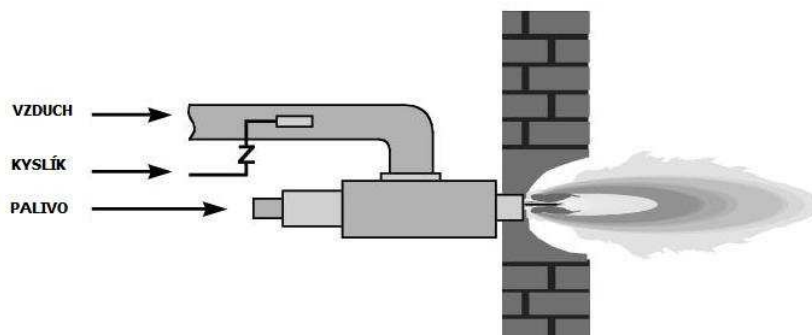
Obr. 8 Ultra low NO_x hořáky [29].

3.2.7 Hořáky spalující směs vzduchu a kyslíku

Další vývojovou řadou jsou hořáky spalující směs vzduchu s kyslíkem (air/oxy). Přidáním kyslíku dojde ke snížení tvorby NO_x , zkrátí se plamen a zvýší se jeho teplota. Díky vysoké teplotě plamene nacházejí tyto hořáky využití při tavení kovů a skla.

Existuje několik možností, jak ke smísení vzduchu a kyslíku může dojít:

- 1) přimícháním kyslíku do vzduchu přiváděného do hořáku,
- 2) vstřikováním kyslíku do plamene,
- 3) okysličováním plamene pouze kyslíkem,
- 4) přivedením vzduchu a kyslíku do hořáku odděleně.

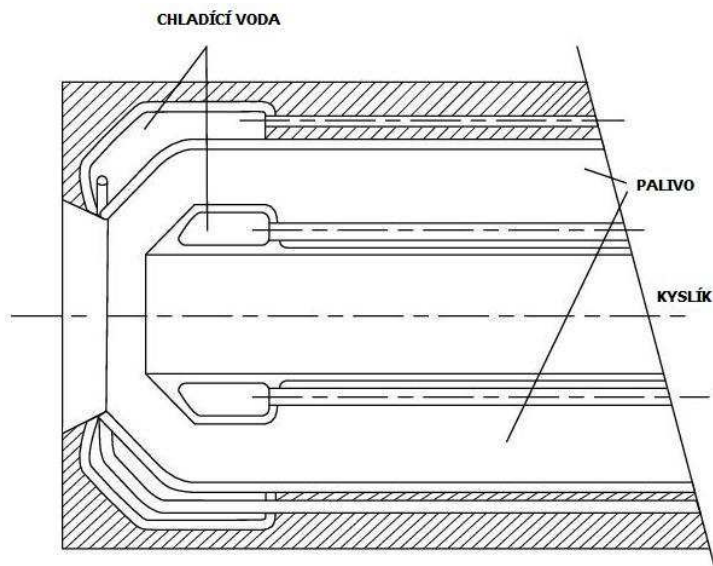


Obr. 9 Air/oxy hořák [1].

3.2.8 Kyslíkové hořáky

Okysličovadlem v tomto typu hořáků je 90% až téměř 100% kyslík. Motivací k využití těchto hořáků mohou být jejich zásadní výhody. Mají totiž vysokou teplotu plamene a díky absenci dusíku je zapotřebí méně paliva k dosažení stejné teploty plamene jako u hořáků spalujících vzduch. Další výhodou je výrazné snížení tvorby NO_x ve spalínách. Produkty vyrobené v pecích, které jsou osazeny těmito hořáky, se vyznačují lepší kvalitou oproti air/oxy hořákům. Je možné například snížit výskyt bublinek při tavně skla.

Na začátku vývoje se hořáky spalující kyslík používaly pouze pro speciální aplikace jako leštění skelných povrchů, svařování a řezání plamenem. Důvodem byla vysoká cena kyslíku kvůli jeho složité a nákladné výrobě. Technologie odlučování O_2 ze vzduchu se postupem času zdokonalila a tím se snížila i cena kyslíku. Důsledkem je rozšíření těchto hořáků do průmyslových aplikací. V současnosti se využívají například při tavně mědi nebo čištění oceli. Cena kyslíku je však stále poměrně vysoká, proto při zvažování aplikace těchto hořáků je třeba vzít v úvahu, zda přínos při použití kyslíkových hořáku bude větší než cena samotného kyslíku.



Obr. 10 Oxy hořák chlazený vodou [1].

3.3 Výrobci hořáků

Firem zabývajících se výrobou hořáků je celá řada. Následující část je věnována českým výrobcům hořáků a vybraným zahraničním společnostem. U každého výrobce je popsán jeho stručný profil a hořáky, které dodává na trh.

3.3.1 Výrobci v České republice

3.3.1.1 VUCHZ, a. s.

Brněnská firma VUCHZ, a. s. vznikla v roce 1990 jako nástupce Výzkumného ústavu chemických zařízení, který byl součástí trustu CHEPOS. V současné době se zabývá výrobou, vývojem a dodávkou technologických linek pro chemický a potravinářský průmysl a také ekologií.

V oblasti hořáků nabízí následující sortiment [8]:

- hořáky s nízkou tvorbou NO_x na olejová i plyná paliva s nominálním výkonem od 1 MW do 6 MW,
- hořáky ultra low NO_x na olejová a plyná paliva s nominálním výkonem 1,2 MW až 5,8 MW,
- hořáky s plochým plamenem na plyná paliva s výkonem 1,1 MW,
- stropní hořáky s nízkou tvorbou NO_x na plyná paliva s výkonem 1,18 MW,
- plynové hořáky na nízkovýhřevná paliva s nominálním výkonem 0,8 MW a 1,6 MW.

3.3.1.2 Ústav využití plynu Brno, s.r.o.

Ústav využití plynu Brno, s. r. o. založen v roce 1956 sídlí v Brně a zabývá se výrobou plynových hořáků a plynových pecí. Dalšími odvětvími, ve kterých se tato firma angažuje, jsou likvidace hořlavých plynů (bioplyny, procesní a nízkokalorické plyny) a realizace využívající technologie na zpracování bioplynu.

V oblasti plynových hořáků nabízí [9]:

- vysokorychlostní hořáky s výkonem od 25 kW do 1,6 MW,
- hořáky do potrubí s výkonem do 5 MW,
- regenerační hořáky s výkonem 30 kW až 200 kW,

- rekuperační hořáky s výkonem 30 kW a 160 kW,
- trubkový hořák s výkonem 15 – 200 kW,
- hořáky pro otop destilačních kotlů s výkonem 50/100/150 kW.

3.3.1.3 PBS POWER EQUIPMENT, s.r.o.

Třebíčská firma PBS POWER EQUIPMENT, s. r. o. specializující se na výrobu a dodávku produktů pro energetické a teplárenské technologie vznikla v roce 1994 z původního závodu První brněnské strojírny Třebíč založené koncem 19. století.

Stěžejními prvky výrobního programu jsou plynové a olejové hořáky [10]:

- plynové hořáky s výkonem 45 kW až 11 MW,
- olejové hořáky s výkonem 85 kW až 8 MW,
- kombinované hořáky s výkonem 320 kW až 12,5 MW,
- výkonové hořáky na plynná, kapalná i kombinovaná paliva s výkonem od 4 MW do 80 MW,
- hořáky na bioplyn.

3.3.1.4 Hořáky Třebíč, s.r.o.

Menší firma také původem z Třebíče Hořáky Třebíč, s. r. o. založená v roce 2005 se specializuje na dodávku jednopalivových hořáků na plynná a kapalná paliva i na hořáky na kombinovaná paliva. Dále je dodavatelem armaturových stanic, elektrických komponentů na hořáky a náhradních dílů [11].

Hlavní artikl jejich výrobního programu jsou hořáky pro kombinovaná paliva s výkonem 8 až 80 MW.

3.3.2 Výrobci v zahraničí

V mezinárodním měřítku působí celá řada výrobců hořáků. V práci jsou uvedeny profily pouze těch společností, které mají zastoupení v České republice.

3.3.2.1 Saacke GmbH

Německá firma Saacke GmbH byla založena ve 30. letech minulého století v Brémách. Její hlavní přínos pro moderní technologie spalování je vývoj rotačního rozprašování paliva. Před 2. světovou válkou se specializovala na výrobu hořáků pro kotle, které sloužily pro pohon lodí.

Výhradním distributorem hořáků Saacke pro Českou republiku je zlínská firma OHNÚT spalovací technika s.r.o. [14].

V současné době vyrábí firma řadu hořáků na olejová, plynná i kombinovaná paliva [12]:

- low NO_x hořáky s výkonem od 1 MW do 126,8 MW,
- ultra low NO_x hořáky s nuceným prouděním a výkonem 650 kW až 50 MW.

3.3.2.2 Eclipse, Inc.

Firma Eclipse, Inc. vznikla v roce 1908 ve městě Rockford na severovýchodě USA. Specializuje se na výrobu systémů pro průmyslový ohřev a sušení.

Výhradním dodavatelem firmy Eclipse je firma OHNÚT spalovací technika s.r.o. ze Zlína [14].

Na trhu nabízejí hořáky na kapalná i plynná paliva [13]:

- horkovzdušné hořáky s přímým ohřevem vzduchu s výkonem od 200 kW do 4 MW,
- kotlové hořáky s přímým ohřevem vzduchu a výkonem 45 kW až 6,1 MW,
- tubusové hořáky pro nepřímý ohřev vzduchu s výkonem od 48 kW do 2,3 MW.

3.3.2.3 Bentone® Enertech Group

Bentone® je firma založená v roce 1954 na jihu Švédska a od roku 2001 je součástí koncernu Enertech Group. Díky své produkci a síti zástupců ve více než 50 zemích světa se řadí mezi největší výrobce hořáků v Evropě.

Výhradní zástupce této švédské firmy v ČR je pražská firma Miroslav Dobrovský [16].

Bentone® se zabývá výrobou olejových a plynových hořáků [15]:

- přetlakové monoblokové hořáky určené pro spalování nafty o výkonu 14 kW až 2,5 MW,
- plynové hořáky s jednostupňovou, dvoustupňovou nebo modulační regulací s výkonem 14 – 1.125 kW,
- plynové hořáky low NO_x s výkonem 12 kW až 1,8 MW,
- hořáky na bioplyn s výkonem 50 – 2.000 kW.

3.3.2.4 Maxon A Honeywell Company

V roce 1916 byla v americkém městě Muncie ve státě Indiana založena firma Maxon. V současnosti je největším dodavatelem průmyslové spalovací techniky na světě. Zabývá se hlavně výrobou hořáků pro průmyslový ohřev a sušení, dále výrobou plynových a olejových ventilů a spalovacích systémů.

Brněnská společnost Enetex-kia s.r.o. je jedním z hlavních partnerů Maxonu v Evropě [18].

Na trh dodává hořáky na plynná i kapalná paliva [17]:

- air/oxy hořáky s výkonem do 88 kW (spalovací vzduch lze obohatit kyslíkem do 50 % objemu),
- přímé sálavé hořáky,
- nízkoteplotní hořáky s nuceným prouděním spalovacího vzduchu,
- vysokoteplotní hořáky s nuceným prouděním spalovacího vzduchu.

3.3.2.5 Weishaupt GmbH

Německá firma Weishaupt se zabývá výrobou hořáků, kondenzačních systémů, solární techniky a tepelných čerpadel. Po celém světě má 20 dceřiných společností a zastoupení ve 39 zemích světa.

Kontaktní místo pro Českou republiku je dceřiná společnost Weishaupt v Praze.

V oblasti spalovacích systémů dodává na trh olejové, plynové a dvoupalivové hořáky [19]:

- low NO_x hořáky s výkonem 12 – 570 kW,
- nízkoteplotní hořáky s nuceným prouděním spalovacího vzduchu s výkonem 55 kW až 5,7 MW,
- vysokoteplotní hořáky s nuceným prouděním spalovacího vzduchu pro parní kotle s výkonem 60 kW až 10,9 MW,
- průmyslové hořáky s nuceným prouděním do výkonu 22 MW.

3.3.2.6 RIELLO S.p.A.

V roce 1920 byla v italském Legnagu založena firma Riello. Od počátku se firma věnuje vývoji a výrobě hořáků na kapalná a plynná paliva. Její rozsáhlá obchodní síť zahrnuje 14 partnerských společností se zákazníky ve více než 60 zemích světa.

Prodejce hořáků Riello v České republice je firma Vladislav Šlitr - Gas Fire Engineering z Hradce Králové [21].

Nabízené modely hořáků jsou konstruovány s důrazem na nízkou hladinu hluku a jsou osazeny ventilátory pro nucené proudění spalovacího vzduchu [20]:

- nízkoemisní hořáky na plyn a lehké topné oleje (nafta) s jednostupňovou, dvoustupňovou nebo modulovanou regulací výkonu a výkonem 11 – 9.580 kW,
- hořáky na těžké topné oleje (mazut) s jednostupňovou, dvoustupňovou, třístupňovou nebo modulovanou regulací výkonu a výkonem od 34 kW do 5,1 MW,
- nízkoemisní hořáky pro spalování kombinovaného paliva s dvoustupňovou nebo modulovanou regulací výkonu a výkonem 163 – 9.580 kW,
- průmyslové plynové hořáky s přídatným ventilátorem, dvoustupňovou nebo modulovanou regulací výkonu a s výkonem v rozsahu 2,5 – 32 MW.

4 Zkušební zařízení

Hlavním cílem zkoušek hořáků je zjistit a ověřit hodnoty vypovídající o parametrech hoření a parametrech emisí vznikajících při spalování, tvaru plamene, bezpečnostních limitech nebo hluku, který vzniká při spalování. Tato data mohou být následně použita pro počítačové simulace metodami CFD [3].

Zkušebny jsou též využívány ke zkoušení nových prototypů hořáků a zjišťování rozdílů mezi teoretickým návrhem hořáku a jeho chováním při praktickém testování. Díky možnosti simulace téměř stejné provozní podmínky, při kterých bude hořák provozován, je možné určit jeho provozní parametry, rozsah pracovních teplot a bezpečnostní limity. Dále lze určit ideální poměr paliva a spalovacího vzduchu podle pracovního rozsahu tak, aby se spalování v hořáku přiblížilo co nejvíce dokonalému spalování a tím byla eliminována tvorba emisních plynů a tuhých znečišťujících látek.

Další parametr získávaný při testování hořáků je složení spalin. Na základě jejich složení je možné určit ideální poměr okysličovadla a paliva přiváděného do hořáku. Lze též určit optimální tlak spalovaného média.

Neopomenutelný z měřených parametrů je hluk. V současné době jsou poměrně striktní hlukové limity. Díky měření lze následně navrhnout ideální vyzdívku spalovací komory a tím minimalizovat hluk a dodržet předepsané hlukové limity [1].

4.1 Parametry zkušebny

Pro získání relevantních dat o zkoušeném hořáku je nutné nasimulovat podmínky, které se co nejvíce blíží těm, při kterých bude hořák následně provozován.

Hořáky mají různé využití, a proto se od sebe liší tvarem, směrem, kterým z nich vychází plamen, i způsobem, jakým jsou ve spalovací komoře instalovány (horizontálně nebo vertikálně). Zkušebna proto musí být uzpůsobena na zkoušení konkrétního hořáku.

Důležitou součástí zkušebny je také zařízení pro přípravu shodného paliva, které bude hořák v provozu spalovat. Palivo totiž značně ovlivňuje tvar a teplotu plamene, účinnost hořáku a také emisní hodnoty.

4.1.1 Spalovací komora

Prvním krokem pro správné testování hořáků je vhodný výběr testovací spalovací komory. Měla by mít rozměry podobné peci, do které bude hořák aplikován. Je také nutné zajistit udržování správné teploty ve spalovací komoře.

Další důležitý parametr je vzduchotěsnost komory. Možný únik spalovacího vzduchu nebo spalin ovlivní výsledky testu. Pokud by spalovací komora byla špatně utěsněna a pracovala by při přetlaku, docházelo by k únikům spalovacího vzduchu a spalin. Při provozu spalovací komory v režimu podtlaku by mohlo docházet k nasávání tzv. falešného vzduchu.

Hořáky ve spalovací komoře je nezbytné umístit tak, jak budou umístěny v provozu. Například některé pece mají ve spodní části prostor pro testování sálavých hořáků a v horní části je možné testovat sálavé stěnové hořáky. Tím lze určit jejich ideální konfiguraci. Se změnou jejich počtu se mění rozložení teploty v peci. Jiné testovací spalovací komory jsou navrženy na testování hořáků, které jsou umístěny v horní části pece a jejich plamen má vertikální směr. Další typ může být horizontální válcová komora pro testování vysokorychlostních hořáků. Toto jsou typově vybrané testovací komory, se kterými se lze v testovací praxi setkat. Existují samozřejmě i další testovací komory přizpůsobené specifickým potřebám testování.

Testovací spalovací komora může být izolovaná nebo vodou chlazená. Ke chlazení se používá chladicí zařízení vnějšího pláště komory chladicími trubkami, které jsou umístěny podél vnějších stěn spalovací komory, nebo cirkulací vody ve zdvojeném plášti komory.

4.1.2 Palivo

Hlavní kritérium výběru paliva pro testování je jeho podobnost s palivem v aplikaci. Zároveň ale musí být kompatibilní s testovacím zařízením. Při použití jiného paliva nebudou naměřené hodnoty korespondovat s hodnotami v provozu.

Testovací palivo je připraveno ve směšovací stanici tak, aby mělo výhřevnost a molekulární hmotnost shodnou s palivem v aplikaci. K tomu se využívá Wobbeho index, který je dán následujícím vztahem [2]:

$$\text{Wobbeho index} = \frac{HHV}{\sqrt{SG}} \quad (2)$$

kde HHV je spalné teplo a SG je specifická hmotnost definována jako:

- poměr molekulární hmotnosti plynného paliva k molekulární hmotnosti vzduchu,
- poměr hustoty kapalného paliva k hustotě vody.

Testovací palivo a palivo v provozu musí být porovnáváno za stejných teplotních podmínek.

Palivo na testování se obvykle připravuje smícháním zemního plynu, propanu, propylenu, butanu, vodíku, dusíku a oxidu uhličitého. Propylen lze například nahradit ethylenem a metan zemním plynem.

4.2 Měření veličiny

Pokud je vhodně zvolena testovací spalovací komora a testovací palivo smícháno v co neblíží shodě s palivem použitým při provozu, může se přistoupit k samotnému testování. Hlavní veličiny měřené během zkoušky jsou tlaky, teploty a průtoky paliva a spalovacího vzduchu a složení spalin. Dále je vizuálně pozorován tvar a stabilita plamene.

4.2.1 Vstupní parametry

Složení směsi paliva a spalovacího vzduchu má zásadní vliv na množství tepelné energie, která se při spalování uvolňuje. Proto je velmi důležité měřit množství paliva a vzduchu přivedeného do hořáku.

4.2.1.1 Průtok paliva

Průtok paliva přiváděného k hořáku se neměří přímo, ale je dopočítáván pomocí naměřené rychlosti z následující rovnice [1]:

$$Q = \frac{v}{S} \quad (3)$$

kde Q je průtok paliva, v je rychlost paliva a S je průřez potrubí, kterým je palivo k hořáku přiváděno.

Rychlost paliva se měří pomocí rozdílných tlaků, oscilátoru, turbíny nebo vloženého měřidla do přívodního potrubí. Na nepřesnost měření může mít vliv netěsnost potrubí nebo znečištění paliva. Testovací palivo bývá většinou čisté, takže tento problém je eliminován. Netěsnosti v potrubí jsou vyloučeny přesnou výrobou spojovacích prvků potrubí.

4.2.1.2 Průtok spalovacího vzduchu

Průtok spalovacího vzduchu se stejně jako průtok paliva měří nepřímo. Pro některé průmyslové aplikace, které mají přirozený přívod spalovacího vzduchu, je měření rychlosti spalovacího vzduchu velmi složité, protože rozdíl tlaku mezi okolím a spalovací komorou je velmi malý. Z tohoto důvodu se měření provádí pouze při přivádění spalín z turbíny nebo spalovacího vzduchu do hořáku přes dmychadlo. V tomto případě lze měřit rychlost vzduchu pomocí Venturiho nebo Pitotovy trubice. Většinou je přiváděný vzduch dopočítáván podle množství kyslíku ve spalínách a podle množství přiváděného paliva.

4.2.2 Podmínky ve spalovací komoře

Dalšími důležitými parametry pro vyhodnocení účinnosti hořáku jsou naměřené hodnoty ve spalovací komoře. Měří se teplota ve spalovací komoře, monitoruje se stav hořáku a jsou sledovány také charakteristiky plamene a tepelný tok.

4.2.2.1 Teplota ve spalovací komoře

Teplota je měřena na několika místech, obvykle v okolí hořáku, ve středu pece a u výstupu spalín. Tuto teplotu lze měřit sacími pyrometry nazývanými též rychlostní termočlánky. V případě měření teploty tyčovým pyrometrem může dojít k chybě měření způsobené tepelným zářením na termočlánek. Sací pyrometry mají v ochranném plášti mezeru, kterou horké spaliny rychle proudí přes termočlánek. Tento způsob měření maximalizuje přenos tepla mezi plynem a termočlánekem a minimalizuje radiační výměnu tepla termočlánku s okolím. Lze tedy říci, že teplota změřená pyrometrem je zhruba stejná jako skutečná teplota proudícího plynu.

4.2.2.2 Stav hořáku

Během testování se na hořáku měří hodnoty několika veličin na několika různých místech, zejména teplota a tlak uvnitř hořáku, které je možné následně využít při jejich dalším navrhování a vývoji hořáků. Lze například ideálně zvolit umístění vstřikovací trysky paliva a škrtkic klapky v přívodním potrubí spalovacího vzduchu.

4.2.2.3 Tah

V případě hořáků s přirozeným přívodem spalovacího vzduchu je vzduch přiváděn k hořáku prostřednictvím podtlaku ve spalovací komoře nebo díky podtlaku vyvolaným přiváděním paliva difuzorem. To jsou nejjednodušší hořáky, které se využívají v petrochemickém průmyslu. Energie potřebná na přivedení vzduchu do hořáku je malá, proto je složité měřit průtok vzduchu hořákem. V případě hořáků s přirozeným přívodem spalovacího vzduchu se měří teplota a tlak přiváděného vzduchu, průtok paliva a přebytek kyslíku ve spalínách. Průtok vzduchu přes hořák je na základě těchto hodnot dopočítáván.

Hořák s nuceným tahem pracuje s přetlakem spalovaného vzduchu, který je k hořáku dopravován dmychadlem nebo ventilátorem. Tím je možné také jednoduše zajistit, aby bylo k hořáku dodáváno stejné množství vzduchu v průběhu testování. Tento přetlak se pohybuje kolem 500 Pa oproti atmosférickému tlaku. Díky vhánění vzduchu do hořáku dochází k lepšímu promíchání spalovacího vzduchu a paliva.

4.2.2.4 Charakteristiky plamene

Tvar a rozměry plamene jsou dány tvarovkou hořáku, přívodem paliva, samotným palivem, přívodem spalovacího vzduchu a aerodynamickými parametry hořáku. Kulatá tvarovka vytvoří kuželový nebo válcový tvar plamene, naproti tomu čtvercová vyzdívka tvoří plochý plamen. Úhel sklonu vyzdívky má také vliv na tvar plamene. Pokud se úhel při vstupu paliva do spalovací komory zmenšuje, plamen je dlouhý a má šipkovitý tvar, pokud se naopak

úhel zvětšuje, je plamen kratší a má kuželovitý tvar. Při kombinaci plynného a kapalného paliva se plamen prodlouží.

Další charakteristikou plamene je jeho stabilita. Je definována jako těkavý pohyb na špičce plamene vyvolaný vibracemi testovací spalovací komory nebo měřením oxidu uhelnatého (CO) uvnitř a kolem obálky plamene. Obálkou plamene se nazývá okraj plamene, který je viditelný pouhým okem. Oko je ovšem subjektivní nástroj pro měření, protože dva lidé nikdy nevidí plamen stejně. Proto se k tomuto subjektivnímu zjišťování stability plamene zavádí ještě měření CO v plameni a tím můžeme určit, kdy dochází k dokonalému spalování.

Intenzitu plamene lze definovat jako jasnost plamene. Určuje se opět subjektivně – okem. U hořáků spalujících kapalná paliva je plamen světle žlutý, neprůhledný s vyšší intenzitou. Hořáky spalující plynná paliva mají plamen modrý, průsvitný s nižší intenzitou.

4.2.2.5 Tepelný tok

K měření tepelného toku v peci můžeme použít několik metod. Měření probíhá v několika bodech na vnitřní stěně spalovací komory.

Jednou z možných variant měření je vodou chlazená sonda vložená do komory přes k tomuto účelu připravený vstup. Jako sonda se používá pyrometr, ve kterém je umístěn termočlánek. Podle napětí na termočlátku lze určit rozdíl teploty mezi oblastí, která je vystavena tepelnému záření, a chlazenou částí sondy. Pyrometry měří úplný tepelný tok, tedy přenos tepla radiací a konvekcí.

Další možností měření tepelného toku jsou radiometry také umístěné ve vodou chlazené sondě, které měří, na rozdíl od pyrometrů, pouze tepelné záření.

4.2.3 Měření výstupních emisí

Důležitou částí testování hořáků je měření výstupních emisí. Hlavní měřené emise jsou NO_x , CO, obsah nespálených uhlovodíků, množství tuhých znečišťujících látek a hluk.

K měření těchto veličin se používají dvě metody: odběr vzorků nebo měření na místě. Při první metodě se odebere vzorek spalin do vyhřívané nádoby a co nejrychleji se dopraví do budovy s vybavením pro analýzu vzorků (s plynovými chromatografy), aby se předešlo změnám v jejich složení.

Pokud se emisní hodnoty měří na místě, jsou měřicí sondy umístěny přímo v kouřovodu. Měřené hodnoty jsou získávány přímo ze spalin. Neoddělují se tedy jako v případě vzorků analyzovaných v přístrojích. Tato metoda je použitelná pro zjišťování množství oxidu uhelnatého (CO), oxidu uhličitého (CO_2), oxidů dusíku (NO_x), oxidu siřičitého (SO_2) a kyslíku (O_2).

4.2.3.1 Hluk

Měření hluku se provádí zařízeními na měření hluku, *hlukoměry*, situovanými ve vzdálenosti 1 metru od vnější stěny spalovací komory, a to ve více místech. Hlukoměr sestává z *mikrofonu*, který přijímá hluk, *převaděče* zvukových vln na digitální signál a *měřiče*, který vyhodnocuje digitální signál a zobrazuje ho na displej měřícího zařízení.

4.3 Zkušebny hořáků

Každá zkušebna je vybavena měřicími přístroji. Pro přesné měření je nezbytně nutné, aby byla všechna zařízení pro měření pravidelně kalibrována.

Podle normy ČSN EN 676 je povinné testovat před uvedením na trh pouze monoblokové hořáky (hořáky s nuceným prouděním spalovacího vzduchu dodávané v celku).

Z toho důvodu se v současnosti zkušebny využívají výhradně pro sběr dat, která jsou potřebná k vývoji nových hořáků a k testování nových prototypů.

4.3.1 Zkušebny v ČR

4.3.1.1 Zkušebna Strojírenského zkušebního ústavu, s. p.

V prostoru zkušebny Strojírenského zkušebního ústavu v Brně je umístěno šest zkušebních spalovacích komor, které jsou uzpůsobeny k testování hořáků na kapalná i plynná paliva:

- 1)** nechlazená spalovací komora s průměrem 300 mm a pevnou délkou 2000 mm sloužící na testování menších hořáků,
- 2)** nechlazená spalovací komora s průměrem 400 mm a pevnou délkou 2000 mm pro menší hořáky,
- 3)** nechlazená spalovací komora s průměrem 1000 mm a pevnou délkou 3000 mm sloužící na testování sklářských hořáků,
- 4)** dvouplášťová chlazená spalovací komora s průměrem 380 mm a nastavitelnou délkou od 300 mm do 1800 mm pro hořáky s výkonem do 600 kW,
- 5)** dvouplášťová chlazená spalovací komora s uzavřeným chlazením s průměrem 500 mm a nastavitelnou délkou od 900 mm do 3000 mm pro hořáky s výkonem do 750 kW
- 6)** dvouplášťová chlazená spalovací komora s uzavřeným chlazením a průměrem 800 mm a nastavitelnou délkou od 1130 mm do 3600 mm pro hořáky s výkonem do 750 kW do 2,5 MW

Součástí zkušebny je prostor pro míchání paliva. Měřenými parametry při zkoušce jsou průtok paliva, tlak a teplota paliva a přiváděného vzduchu, množství emisních plynů ve spalinách a jejich teplota.

Ve zkušebně Strojírenského zkušebního ústavu prováděla svůj vývoj švédská firma Bentone. Tato zkušebna se díky zavedení legislativních důvodů jiným způsobem téměř nevyužívá (viz kapitola 4.3).

4.3.1.2 Zkušebna UPEI Brno

Ve zkušebně hořáků, která je součástí areálu Fakulty strojního inženýrství na Palackého vrchu, je umístěna jedna zkušební komora. Jedná se o vodou chlazenou dvouplášťovou komoru s uzavřeným chladícím okruhem, průměrem 1000 mm a proměnlivou délkou od 2000 mm do 4000 mm. Lze zde zkoušet hořáky do výkonu 1,8 MW na kapalná, plynná i kombinovaná paliva. V průběhu zkoušky je možné měřit průtok, tlak a teplotu paliva a spalovacího vzduchu na vstupu, na výstupu pak množství emisních plynů a jejich teplotu.



Obr. 11 Zkušebna UPEI Brno [30].

4.3.1.3 Zkušebna hořáků VUCHZ, a. s.

Zkušebna VUCHZ je vybavena třemi vodou chlazenými zkušebními komorami. Dvě komory pro zkoušky hořáků do 2 MW, respektive do 4 MW, jsou umístěny horizontálně, třetí komora pro hořáky do 6 MW vertikálně. Zde je možno testovat hořáky na plynná i kapalná paliva. Součástí zkušebny je směšovací stanice s možností směšování zemního plynu, dusíku a vodíku. Při zkouškách lze měřit všechny potřebné parametry pomocí kalibrovaných měřících přístrojů.



Obr. 12 Zkušebna hořáků VUCHZ, a.s. [8].

4.3.1.4 Zkušebna UVP Brno

Zkušebna Ústavu pro využití plynu Brno má jednu větší a dvě menší nechlazené komory. Slouží hlavně pro zkoušky topných systémů s regenerací. Zkušebna umožňuje měření průtoků paliva a spalovacího vzduchu a množství O_2 , CO , CO_2 , a NO_x ve spalinách. Je možné zde testovat hořáky do 1 MW.

4.3.1.5 Zkušebna PBS POWER EQUIPMENT, s.r.o.

Firma PBS z Třebíče zkouší v areálu své firmy pouze monoblokové hořáky s nuceným přívodem vzduchu. K tomu slouží pět zkušebních spalovacích komor:

- 1)** dvouplášťová vodou chlazená válcová komora s pevnou délkou pro hořáky do 600 kW,
- 2)** dvě dvouplášťové vodou chlazené válcové komory s pevnou délkou, ve kterých lze zkoušet hořáky s výkonem do 10 MW,
- 3)** dvouplášťová vodou chlazená válcová komora s pevnou délkou pro hořáky do 18 MW (zde lze měřit tepelný příkon po délce),
- 4)** vodou chlazená zkušebna ve tvaru kvádry pro hořáky s výkonem do 30 MW.

Ve všech komorách lze zkoušet hořáky na plynná i kapalná paliva. Jako plynné palivo je k dispozici pouze zemní plyn.

V průběhu zkoušky lze měřit průtok paliva, teplotu a tlak přívodního vzduchu a paliva na vstupu a teplotu, tlak a množství emisních plynů ve spalinách.

4.3.2 Zkušebny v zahraničí

Přestože většina předních světových výrobců modeluje základní návrh hořáku pomocí počítačových simulací CFD, je stále nutné nové prototypy testovat ve zkušebních provozech. Z důvodu velkého množství vyráběných hořáků má každý výrobce svoji zkušebnu v sídle závodu a ti největší i ve svých pobočkách ve světě.

Zkušební zařízení každého výrobce působícího na mezinárodním trhu prochází dlouhodobým postupným zdokonalováním. Firmy si hlídají svoje patentované know-how a tudíž neposkytují žádné specifické informace o svých zkušebnách. K dispozici jsou pouze velmi obecné informace, dostupné v odborné literatuře a na internetu.

5 Závěr

Tato práce byla zaměřena na hořáky využívané v průmyslových technologických zařízeních a shrnuje základní znalosti a nové poznatky o jejich testování ve zkušebnách. Práce měla stanovené dva cíle, kterých částečně dosáhla.

První cíl bylo popsat jednotlivé druhy hořáků, se kterými se lze na trhu setkat, a zmapovat současný trh s těmito dostupnými hořáky. Při rešerši bylo zjištěno a potvrzeno, že hořák je stěžejním prvkem spalovacího systému a má zásadní vliv na přenos tepelné energie vzniklé při spalování na ohřívání materiál. Podle využití v průmyslových technologiích jsou navrženy různé typy hořáků. V metalurgii při výrobě ocelí se používají vysokorychlostní hořáky, regenerační hořáky jsou hlavní technologií pro žíhací pece. Na sušení a ohřev se využívají sálavé hořáky, sálavé trubky a sálavé stěnové hořáky. Jelikož je v současnosti kladen velký důraz na snižování NO_x ve spalínách, pro ohřívání průmyslových kotlů se používají nízkoemisní nebo ultra low NO_x hořáky. Pro tavení skla se využívají hořáky spalující směs vzduchu a kyslíku a pro zvýšení kvality vyráběných skleněných produktů se využívají kyslíkové hořáky.

V České republice vyrábí hořáky čtyři moravské firmy. Největší z nich je PBS POWER EQUIPMENT z Třebíče, která dodává hořáky do Ruska nebo do Pákistánu. Ze zahraničních výrobců má v ČR zastoupení šest z nich.

Druhý cíl si stanovil provést rešerši problematiky zkušeben hořáků a předložit ucelený přehled zkoušených parametrů ve zkušebnách. Bylo zjištěno, že K vývoji a testování hořáků slouží zkušební zařízení. Ve zkušebnách je možné ověřit počítačem nasimulované hodnoty. Součástí zkušebny jsou měřicí zařízení monitorující tlaky, teploty a rychlosti paliva a spalovacího vzduchu, podmínky ve spalovací komoře a množství emisních plynů ve spalínách.

Většina firem zabývajících se výrobou hořáků má vlastní zkušební zařízení z důvodu vývoje. České firmy disponují menšími zkušebnami, mezinárodní koncerny mají rozsáhlé zkušebny ve svých mateřských závodech a největší z nich i v dceřiných společnostech. Vzhledem k faktům, že vybavení zkušeben podléhá patentovaným know-how firem a k dispozici jsou pouze obecné informace, je dosažení tohoto cíle úspěšné pouze z části. Zde je prostor pro další tentokrát praktický 'on-site' výzkum a pozorování v rámci studijní praxe přímo v konkrétních firmách.

Zdroje

- [1] BAUKAL, C.E., *Industrial Burners Handbook*, USA : CRC Press, 2004. ISBN 0-8493-1386-4.
- [2] BAUKAL, C.E., SCHWARTZ, R. E., *The John Zink Combustion Handbook*, USA : CRC Press, 2001. ISBN: 978-0-8493-2337-9.
- [3] BAUKAL, C.E., *Industrial Combustion Testing*, USA : CRC Press, 2011. ISBN 978-1-4200-8528-0.
- [4] BAUKAL, C.E., *Industrial Combustion, Pollution and Control*, USA : Marcel Dekker, 2004. ISBN 0-8247-4694-5.
- [5] TSUJI, H., GUPTA, A.K., HASEWAGA, T., KATSUKI, M., KISHIMOTO, K., MORITA, M., *High Temperature Air Combustion: From Energy Conservation to Pollution Reduction*, USA, : CRC PRESS, 2003. ISBN 0-8493-1036-9.
- [6] VESELÝ, S., *Spalovací komory spalovacích turbín*, Brno : Galant Brno, 2007. ISBN 80-239-6657-X.
- [7] POKORNÝ, B., KRUMLOVÁ, A., PEŘINA, A., KOLÁČNÝ, I., TESAŘÍKOVÁ M. *Vyhodnocení kvality ovzduší průmyslové zóny města Jihlavy a z něho vyplívajících zdravotních rizik z kvality ovzduší města Jihlavy*. [online]. c 2009 [cit. 2012-05-17]. Dostupné na: http://extranet.kr-vysocina.cz/download/ozp/kvalita_ovzdusi/05-vysocina_ZDRAVOTNI_RIZIKA.pdf.
- [8] VUCHZ a.s., *Inženýrská, výrobní a dodavatelská firma* [online]. [cit. 2012-05-15]. Dostupné na: <http://www.vuchz.cz/>.
- [9] *Ústav využití plynu Brno, s.r.o.* [online]. [cit. 2012-05-15]. Dostupné na: <http://www.uvp.cz/>.
- [10] *PBS PE POWER EQUIPMENT* [online]. c2012 [cit. 2012-05-15]. Dostupné na: <http://www.pbspe.cz/cze/>.
- [11] *Hořáky Třebíč, spol. s r.o.* [online]. [cit. 2012-05-09]. Dostupné na: <http://www.horakytrebic.cz/>.
- [12] *SAACKE Boiler and Process Firing Systems* [online]. c2012 [cit. 2012-05-15]. Dostupné na: <http://www.saacke.com/>.
- [13] *Eclipse Combustion Europe – Gas Burners – Industrial Heating and Drying* [online]. c2011 [cit. 2012-05-15]. Dostupné na: <http://www.eclipsecombustion.com/>.
- [14] *Jiří Ohnůt, spalovací technika – Zlín, CZ* [online]. [cit. 2012-05-15]. Dostupné na: http://www.ohnut.cz/Ohnut_800.htm.
- [15] *www.bentone.com* [online]. [cit. 2012-05-15]. Dostupné na: <http://www.bentone.com/>
- [16] *Bentone – Miroslav Dobrovský* [online]. [cit. 2012-05-15]. Dostupné na: <http://www.bentone-dobrovsky.cz/>.
- [17] *Industrial Burners, Combustion Equipment – Maxon Cosporation* [online]. c2012 [cit. 2012-05-15]. Dostupné na: <https://www.maxoncorp.com/>.
- [18] *ENETEX-KIA s.r.o.* [online]. c2012 [cit. 2012-05-15]. Dostupné na: <http://www.enetex.cz/>.

- [19] *WEISHAUPT – Weishaupt* [online]. [cit. 2012-05-15]. Dostupné na: <http://www.weishauptcz.cz/>.
- [20] *Riello Burners* [online]. [cit. 2012-05-15] Dostupné na: <http://www.rielloburners.com/>.
- [21] *Plynové a olejové hořáky, montáže, rekonstrukce a opravy plynových zařízení* [online]. c2012 [cit. 2012-05-18]. Dostupné na: <http://www.riello.cz/>.
- [22] *Strojírenský zkušební ústav, s.p. – certifikace a zkoušení výrobků, paliva, bipaliva, inspekce, GOST* [online]. c2007 [cit. 2012-05-18]. Dostupné na: <http://www.szutest.cz/>.
- [23] *Ropa – Wikipedie* [online]. c2012 [cit. 2012-05-18]. Dostupné na: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Ropa>.
- [24] *Úspora energií a úspora paliv* [online]. [cit. 2012-05-18]. Dostupné na: <http://www.prumyslovepece.eu/uspory-energii.htm>.
- [25] *Viessmann – Sálavý hořák MatriX* [online]. [cit. 2012-05-19]. Dostupné na: http://www.viessmann.cz/cs/services/lexikon/p_bis_t/matrix-strahlungs Brenner.html.
- [26] *Parts per million – Wikipedie* [online]. c2012 [cit. 2012-05-19]. Dostupné na: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Ppm>.
- [27] *BeiJing ShenWu Enviroment energy technology group Co., LTD* [online]. c2011 [cit. 2012-05-19]. Dostupné na: http://www.shenwu.com.cn/english/index.php?app=product&act=view&column_id=137&id=184.
- [28] *ZEECO: Radiant Wall Burners: RWFD Forced Draft Radiant Wall Burner* [online]. [cit. 2012-05-19]. Dostupné na: http://www.zeeco.com/burners/burners_radiant_rwfd.php.
- [29] *ZEECO, Inc.: Low NO_x Burners Process Burners, Duct Burners, Boiler Burners, Radiant Wall Burners* [online]. [cit. 2012-05-19]. Dostupné na: <http://www.zeeco.com/burners.php>.
- [30] *Ústav procesního inženýrství FSI VUT v Brně* [online]. [cit. 2012-05-21]. Dostupné na: <http://upei.fme.vutbr.cz/>.

Seznam obrázků

Obr. 1 Schéma spalovacího systému.	15
Obr. 2 Schéma vysokorychlostního hořáku.	17
Obr. 3 Schéma regeneračního hořáku.	18
Obr. 4 Pórovité tabule přímého sálavého hořáku.....	19
Obr. 5 Sálavý potrubní hořák v praxi.....	19
Obr. 6 Nahřátá stěna pece se sálavými stěnovými hořáky.....	20
Obr. 7 Nízkoemisní hořák.....	21
Obr. 8 Ultra low NO _x hořáky.....	21
Obr. 9 Air/oxy hořák.....	22
Obr. 10 Oxy hořák chlazený vodou	23
Obr. 11 Zkušebna UPEI Brno	32
Obr. 12 Zkušebna hořáků VUCHZ, a.s.....	32

Seznam chemických sloučenin

C – značka uhlíku

CO – oxid uhelnatý

CO₂ – oxid uhličitý

NO – oxid dusnatý

NO₂ – oxid dusičitý

NO_x – oxidy dusíku

O₂ – molekula kyslíku

SO₂ – oxid siřičitý

Seznam zkratek

CFD – Computational Fluid Dynamic (počítačové modelování proudění)

HHV – spalné teplo

Q – průtok

S – plocha

SG – specifická hmotnost

v – rychlost